

Az /s/ és /ʃ/ hangok akusztikai és artikulációs elkülönítése gyermekeknél: két longitudinális esettanulmány

Grácsi Tekla Etelka^{1,4} – Csapó Tamás Gábor^{2,4} – Deme Andrea^{3,4} – Bartók Márton⁴
Markó Alexandra^{3,4}

1. Bevezetés

A beszédképző szervek és ennél fogva ezek működése, azaz az artikuláció is jelentős változásokon megy keresztül születéstől felnőttkorig. Ebbe beleértendők mind a beszédszervek méretei, mind az egymáshoz viszonyított méretarányai, mind pedig az egyes beszédképző szervek működési precizitása és összehangoltsága. A különböző életkori szakaszokban az érintett szervek méretbeli változása eltérő ütemű. Egyebek mellett ez a nem egyenletes növekedés indokolja a gyermekek artikulációjának és az artikuláció akusztikai kimenetének longitudinális vizsgálatát, különös tekintettel az egyes beszédhangok ejtésében megfigyelhető variabilitásra. Egyes szakirodalmi források szerint ugyanis nagyobb variabilitás jellemzi a gyermekek ejtésében a beszédhangokat, mint a felnőttekében (pl. LEE – POTAMIANOS – NARAYANAN 1999; WALSH – SMITH 2002; KOENIG – LUCERO – PERLMAN 2008). Az egyes beszédképző szervek növekedési mintázata eltérő (VORPERIAN et al. 2009), emiatt a gyermekeknek egy-egy célhang megvalósításának érdekében folyamatosan változó feltételekhez kell igazítaniuk az artikulációs gesztusaikat, miközben a motoros fejlettségük is folyamatos fejlődésben van még.

A gyermekek először a magánhangzókat sajátítják el, míg a réses képzésű hangokat, tehát a réshangokat és zár-rés hangokat a mássalhangzók között is csak viszonylag későn (vö. pl. SMIT et al. 1990; DINNSEN 1992; KENT 1992). A mássalhangzók elsajátítása nem csak a mássalhangzó saját jellemzőitől függ, más nyelvi jellemzők, például a nyelvben szereplő fonológiai kontrasztok is meghatározzák (vö. pl. LI – EDWARDS – BECKMAN 2009).

¹ Nyelvtudományi Intézet, Budapest

² BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

³ ELTE Alkalmazott Nyelvészeti és Fonetikai Tanszék

⁴ MTA–ELTE Lendület Lingvális Artikuláció Kutatócsoport

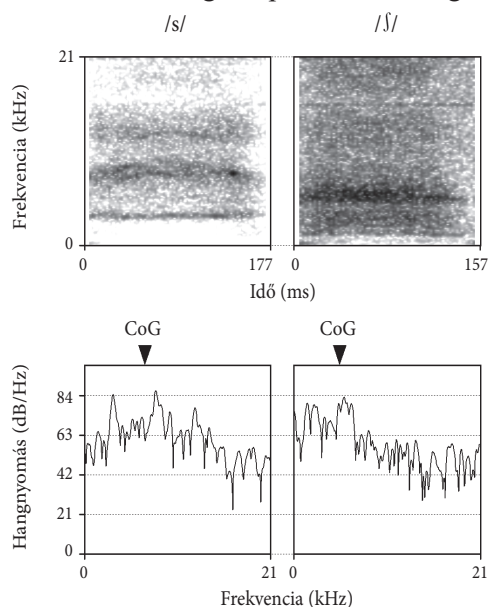
1.1. A réshangok artikulációja és akusztikai szerkezete

Az orális réshangok ejtésekor szűk rést hozunk létre a szájüregben. A magyarban ilyen réshangok (más néven spiránsok vagy frikatívák) a felső fogsor és az alsó ajak közötti réssel képződő zöngétlen /f/ és zöngés /v/, a fogmeder és a nyelv elülső részével képződő zöngétlen /s/ és zöngés /z/, valamint a fogmeder mögött hasonlóképpen ejtett zöngétlen /ʃ/ és zöngés /ʒ/. (A magyarban réshangként képződnek a /h/ különféle változatai, ezek közül némelyik a szájüreg középső-hátsó részében jön létre, pl. *ihlet*, *doh*, míg a *hajó* szó kezdőhangja nem orális, hanem glottális, azaz a hangszalagok között keletkező réshang.) A fogmedernél ejtett alveoláris és a fogmeder mögötti részen ejtett posztalveoláris réshangokat és zár-rés hangokat együttesen sziszegő-susogó hangoknak, idegen eredetű szóval szibilánsoknak nevezzük. A jelen tanulmányban ezek közül a zöngétlen szibilánsokat, az /s/ és /ʃ/ hangokat vizsgáljuk.

A réshangok létrehozásakor a tüdő felől áramló levegő feltorlódik az akadály mögött, a szájüregi nyomást megemelve. A résen kiáramló levegő turbulens zörejt hoz létre a súrlódás következtében (SHADLE 1989; STEVENS 1998). A réshang spektrális jellemzőit az akadály előtti üreg mérete és formája határozza meg (STEVENS 1998).

A létrejövő beszédhang akusztikai szerkezetét több módon is leírhatjuk. Gyakran négy spektrális momentummal jellemzik őket. Ezek az alábbiak. A CoG (*centre of gravity*, magyarul 'súlypont') a frekvencia-összetevőknek azok amplitúdójával súlyozott átlaga. Az 1. ábrán a jelen tanulmány felnőtt női adatközlőjének egy /s/ és egy /ʃ/ realizációja szerepel. A hangszínképek összevetésével látható, hogy az alveoláris réshang magasabb frekvenciatartománytól tartalmaz összetevőket, mint a posztalveoláris. Emellett az /s/ esetében három frekvenciatartományban látható nagyobb intenzitású összetevő, az /ʃ/ esetében egy frekvenciatartományban. Ezek a zörejgócok. Az alveoláris réshang esetében ezen zörejgócok (többsége) is magasabb értéken találhatóak. A teljes (0–21000 Hz-es) spektrális tartományban mért CoG-érték mindemiatt magasabb az /s/ esetében, mint az /ʃ/ esetében: a minta középpontján az /s/ esetében 6814 Hz, míg az /ʃ/ esetében 5137 Hz. A spektrális szerkezet a CoG-n kívül jellemezhető a szórással, a ferdeséggel és a csúcossággal. A szórás a súlyponttól való átlagos eltérést adja meg, azaz azt, hogy ha a CoG értéke egy adott időpontban az átlag, akkor az adott időpont további frekvencia-összetevői hogyan szórnak ehhez képest. A példánkban a spektrális szórás az alveoláris réshang esetében 2617 Hz, a posztalveoláriséban 1776 Hz volt. A ferdeség az adott időpontban a frekvencia-összetevők eloszlásának szimmetriáját adja meg. A 0 érték esetén azonos a súlypont alatti és feletti terület kiterjedése, pozitív érték esetén a CoG értékénél magasabb tartomány kiterjedése nagyobb. Az 1. ábra két mintájában az /s/-realizáció ferdesége –0,05, az /ʃ/-é 1,56, azaz

az /ʃ/ esetében a CoG-nál magasabb értékek jellemzőek, az /s/ realizációjában közel hasonló arányban jelentek meg. Az /ʃ/ esetében ez az eredmény úgy lehetséges, hogy az intenzív zörejgóc a mássalhangzóra jellemző spektrum alsó értékeinél található, így a CoG-t a legkisebb és a legnagyobb frekvenciaérték közötti felezővonalnál alacsonyabban találjuk. A csúcsosság a spektrumnak egy CoG-középpontú Gauss-görbétől való eltérését mutatja meg. Minél magasabb pozitív számot kapunk, annál csúcsosabb a görbe, jelen esetben a CoG-hez közeli frekvenciaértékek intenzitása magasabb, mint a távolabbiaké. Negatív szám esetén lapos a spektrum. A minták esetében az alveolárisnak $-0,09$, a posztalveoláris réshangnak $16,11$ a csúcsossága. A két spektrumot összevetve azt látjuk, hogy az /ʃ/ a magasabb tartományokon kevésbé intenzív, mint az alsókon – a CoG-nél magasabb tartományokon nincs kiemelkedő intenzitású csúcs – míg az /s/ spektrumában a CoG-nál magasabb tartományok irányában kevésbé meredeken eszkedik az intenzitás, ezen frekvenciatartományban is találunk egy intenzitáscsúcsot. A felsoroltak mellett a hangzók jellemezhetőek a spektrális lejtéssel is. Ez a teljes spektrum intenzitásgörbéjére illesztett egyenes meredeksége. Az itt bemutatott két példa csak egy-egy ejtést képvisel, az értékek más ejtésben eltérhetnek. Ezek a példák csak a két mássalhangzó tipikus különbségeit szemléltetik.



1. ábra. A jelen tanulmány felnőtt női adatközlőjének egy /s/- és egy /ʃ/-realizációja /u/_/u/ hangkörnyezetből, harmadik szótag onszetjében. A felső ábrákon a hangszínképet, az alsón a teljes időtartam középső pontján (50%) vett spektrumot látjuk.

Az /f/ posztalveoláris réshang esetében az akadály előtti artikulációs csatorna hosszabb, mint az alveoláris /s/ esetében, így a spektruma alacsonyabb CoG-val valószínűleg (lásd I. ábra). Ha a kiáramló levegő a fogakon is ütközik, ahogyan a szibilánsok esetében történik, a magasabb frekvenciatartományok intenzitása nagyobb, mint a nem szibiláns réshangok esetében (SHADLE 1989).

A szibilánsok létrehozásához szükséges megfelelő légáram keltése precíz artikulációs manővereket igényel, így a nyelvhat és az ajkak mozgása és beállítása is erősen kontrollált (STONE – LUNDBERG 1996; RECASENS – ESPINOSA 2009). Ezen ok miatt a szibilánsok koartikulációs rezisztenciája és koartikulációs agresszivitása is erős. A nagy koartikulációs rezisztencia azt jelenti, hogy a realizációikra kevésbé van hatással a hangkörnyezetük, ejtésük nem variálódik nagymértékben attól függően, hogy milyen szegmentumok szerepelnek előttük vagy utánuk a hangsorban. A koartikulációs agresszivitásuk erőssége pedig abban áll, hogy a szibilánsok hatására a környező fonémák realizációi nagyobb eltérést mutatnak más környezetben való realizációikhoz képest, azaz a szibilánsok előtt és után álló szegmentumok variábilisabbak (ENGWALL 2000; MOOSHAMMER – HOOLE – GEUMANN 2007).

1.2. Az /s/ és /f/ artikulációs és akusztikai megkülönböztetése

Felnőttek beszédében az alábbiakat találták. Az /s/ esetében magasabb CoG-, alacsonyabb spektrális szórás- és nagyobb csúcsosságértéket kapott Tomiak (1990) angol beszédben, mint az /f/-re. Nittrouer (1995) is magasabb CoG-t és nagyobb csúcsosságértéket kapott az /s/ esetében. Emellett a ferdeség tért még el az ő eredményeiben a két mássalhangzó között. Jongman, Wayland és Wong (2000) mind a négy spektrális mérőszám esetében szignifikáns különbséget talált az alveoláris és a posztalveoláris réshangok között: A CoG és a csúcsosság az alveoláris réshangban, a spektrális szórás és a ferdeség a posztalveolárisban volt magasabb.

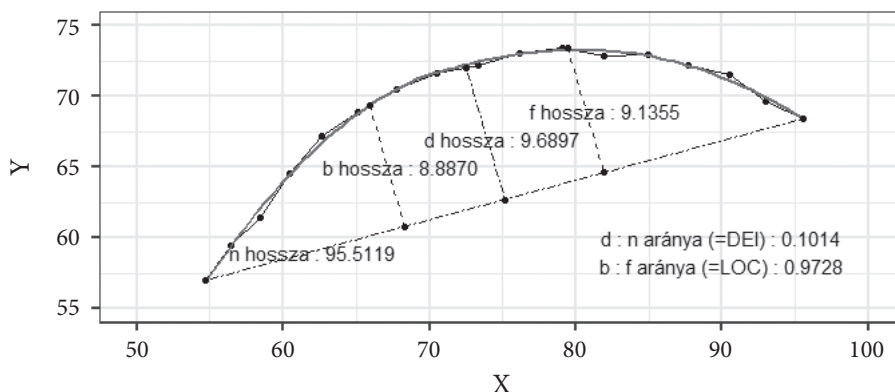
A kutatások szerint előfordul, hogy a gyermekek ejtésében már megvan a kontraszt két vizsgált célhang között, ez mégis eltér a felnőtt beszédben tapasztaltaktól. Megjelenhet más vagy kevesebb fonetikai jellemzőben, sőt úgynevezett rejtett kontraszt (*covert contrast*) is létrejöhet, amely az akusztikai szerkezetben megtalálható, de a hallgatók számára nem észlelhető (vö. pl. SCOBIE – GIBBON – HARDCASTLE – FLETCHER 1996; WHITE 2001; NISSEN – FOX 2005; LI – EDWARDS – BECKMAN 2009). A réshangok produkciója még a korai serdülőkorban is változik (ROMEO – HAZAN – PETTINATO 2013) annak ellenére, hogy a két fonéma realizációjának kontrasztja már korán, 2–7 éves korban is jelen lehet, mégis a felnőttektől eltérő módon (NITTROUER 1995; NISSEN – FOX 2005).

Nissen és Fox (2005) 3–6 éves gyermekek és felnőttek ejtésében elemezték az angol zöngétlen frikatívák akusztikai szerkezetét. A vizsgált tényezők az időtartam, a spektrális lejtés, a CoG, a spektrális szórás, a ferdeség és a csúcsosság voltak. A szibilánsok kontrasztja a CoG, a ferdeség és a csúcsosság tekintetében 4-5 éves korban hasonló volt a felnőtt ejtésre jellemző tendenciához, de az értékek ekkor is nagy eltérést mutattak attól. Nittrouer (1995) 3, 5 és 7 éves gyermekek ejtését vetette össze felnőttek beszédével. Még hétéves korban sem talált a felnőttekével azonos mintázatot, csak hasonló tendenciát. Míg ő a motoros képességek fejletlenségével indokolta az /s/ és /ʃ/ közötti kontraszt hiányát, Nissen és Fox (2005) arra is felhívta a figyelmet, hogy a gyermekek szájüregében a két képzési hely közötti távolság még jóval kisebb a felnőttekéénél. Pentz, Gilbert és Zawadzki (1979) a legintenzívebb zörejgóc frekvenciaértékét elemezte az angol orális réshangokban huszonegy 8–12 éves gyermek ejtésében. A mássalhangzók között szignifikáns eltérést találtak a várt irányban, míg sem a magánhangzó-környezet, sem a szóbeli pozíció, sem a zöngéesség alapján nem volt eltérés ugyanazon beszédhang különböző megvalósulásai között.

Romeo, Hazan és Pettinato (2013) hetvenhárom 9–14 éves gyermek ejtését vetette össze felnőttekével. Az /s/ és /ʃ/ közötti kontrasztot vizsgálták a CoG- és spektrális-szórás-értékekben. A két konszonáns közötti eltérés már a gyermekek ejtésében is megtalálható volt, 11 éves kortól pedig a nemek között is különbséget találtak. A nők és lányok ejtésében a szórásban nagyobb eltérés volt kimutatható a két mássalhangzó között, mint a férfiaknál és fiúknál. A gyermekek ejtésében nagyobb variabilitást találtak – főként az /s/ esetében – még 14 éves korban is, mint a felnőttekében. A magyar tizenéves lányok és fiúk, illetve felnőtt nők esetében a CoG és a ferdeség szignifikáns eltérést mutatott az /s/ és az /ʃ/ között spontán beszédben, míg a spektrális szórás és csúcsosság nem. A felnőtt férfiak esetében a szórás is eltérő volt a két vizsgált zöngétlen spiráns között (GRÁCZI – KREPSZ 2018).

Zharkova (2016) a CoG-értékeket, a konszonánsvégi F_2 -értéket, valamint nyelvultrahangképek alapján a nyelv görbületét vetette össze 15 10–12 éves gyermek és 15 felnőtt ejtésében az /s/ és /ʃ/ mássalhangzóknál. A mássalhangzó végpontjában mért F_2 -érték a nyelv által képzett akadály mögötti terület méretére utal. A nyelv görbületét úgynevezett LOC_{a-i} (ZHARKOVA – GIBBON – HARDCASTLE 2015) és DEI (ZHARKOVA 2013) mérőszámokkal számszerűsítette a szerző, a mássalhangzó időtartamában 9 egyenlő távolságban vett időpontban. A két mérőszámot a 2. ábra alapján mutatjuk be. Az ábrán a jelen tanulmány fiú adatközlőjének ejtésében látható egy *ususu* hangsorbeli /ʃ/ középpontjában a nyelv középvonali kontúrja. Az *n* a nyelv legelülső és leghátsó pontját összekötő szakasz (tehát a nyelvgörbe végei közötti egyenes vonal). A *d* az ennek a középpontjában, a *b* a hátsó harmadoló ponton, az *f* az első harmadoló

ponton állított merőleges. Ezeknek a hossza az n -nel való metszéspont és a nyelvgörbével való metszéspont közötti szakasz. Az LOC_{a-i} a $b : f$ arány, a DEI pedig a $d : n$ arány. Zharkova (2013) ezen két mérőszám közül az elsőben talált a mássalhangzó teljes időtartamában eltérést az $/s/$ és $/ʃ/$ között. A tanulmány az akusztikai adatokat tekintve a gyermekek és felnőttek ejtése között csak az $/ʃ/$ mássalhangzók időtartamának második felében talált eltérést a CoG-értékekben, illetve a CoG variabilitásában. A CoG eltérései mögött több lehetséges okot is felsorolt a szerző: a nyelvforma a szublingvális (azaz a nyelv alatti) üreg létrehozása miatt kötöttebb, az akadály pontos helyének nehezebb a létrehozása, a nyelv oldalának pozíciója is meghatározó, illetve az ajkak állása meghatározóbb ebben a mássalhangzóban (mivel kerekített ajakműködés szükséges az ejtéshez, míg az $/s/$ esetében nem). Mindezeket a két mérőszám nem számszerűsíti, illetve a nyelv oldalsó részéről nem ad képet a középvonali nyelvultrahang.



2. ábra. Az LOC_{a-i} és a DEI mérőszámok magyarázata (Szakaszok: n = a nyelv két végpontját összekötő szakasz, b = az n hátsó harmadoló pontján állított szakasz az n -et és a nyelvet metsző pont között, d = az n felezőpontján állított szakasz az n -et és a nyelvet metsző pont között, f = az n első harmadoló pontján állított szakasz az n -et és a nyelvet metsző pont között)

A magánhangzós kontextusnak a két zöngétlen szibiláns artikulációjára gyakorolt hatását is elemezték 6;3–9;9 éves gyermekek ejtésében (10 gyermek, 10 felnőtt: ZHARKOVA – HEWLETT – HARDCASTLE 2011, 2012). A mássalhangzó középpontjában vett ultrahangképek alapján berajzolt nyelvkontúrokat vetették össze az ún. NND mérőszámmal, ami a legközelebbi szomszéd távolságát adja meg, vagyis a különböző nyelvkontúrok egymástól való távolságát számszerűsíti (ZHARKOVA – HEWLETT 2009).

Mindkét mássalhangzó ejtésében nagyobb variabilitást tapasztaltak a gyerekek esetében, mint a felnőttek esetében. Az alveoláris réshang esetében nem találtak a gyermekeknél koartikulációs hatást, a felnőttek ejtésében igen (ZHARKOVA – HEWLETT – HARDCASTLE 2012), míg a posztalveoláris réshang esetében jelentősen nagyobb volt a gyermekeknél a koartikulációs hatás (ZHARKOVA – HEWLETT – HARDCASTLE 2011). Vagyis a szomszédos magánhangzók minősége nagyobb mértékben befolyásolta a gyermekek /ʃ/-ejtését, mint a felnőttek esetében; míg az /s/ ejtése a felnőttek esetében gyakorolt nagyobb hatást a szomszédos magánhangzó jelenléte.

1.3. A jelen tanulmány kérdésfelvetése, hipotézisei

A nemzetközi és a magyar szakirodalom alapján látható, hogy a réshangok vizsgálata mind artikulációs, mind akusztikai szempontból releváns témakör a gyermeki beszéd kutatásában. A magyar szakirodalomban akusztikai elemzést találunk ebben a témakörben, artikulációs vizsgálatra azonban még nincsen példa tudomásunk szerint. A jelen kutatásban ezt a hiányt igyekszünk pótolni kisebb adatközlőszámmal, két gyermek beszéde alapján végzett vizsgálatunkban. A kutatásunk abban a tekintetben is újdonságnak számít, hogy longitudinális vizsgálatot végeztünk, azaz ugyanazon gyermekek beszédét rögzítettük nyelvultrahanggal és akusztikai csatornán, különböző időpontokban: 7;5 és 11;0 éves kortól négy alkalommal, két éven keresztül. Az elemzés az ezekben az időpontokban rögzített adatokat hasonlítja össze, valamint viszonyításképpen egy felnőtt kontrollszemély egy alkalommal rögzített felvételén mért adatokat is bemutatunk.

Hipotéziseink szerint (i) a két gyermek ejtésében megjelenik már az első felvételek idején a két konszonáns kontrasztja, de a felnőtt beszélő mintázatától még eltérően; illetve (ii) a négy felvétel között, azaz a közel két év alatt a kontraszt hasonlóbb mintázatúvá válik a felnőtt ejtéséhez. Mind az artikulációs, mind az akusztikai adatok vonatkozásában várjuk ezeknek a tendenciáknak az érvényesülését.

2. Kísérleti személyek, anyag és módszer

Két magyar anyanyelvű, egynyelvű gyermek, egy lány és egy fiú beszédét rögzítettük négy felvételi időpontban, mintegy féléves időtávokban. A kislány 7;5, 7;11, 8;5, 8;10, a kisfiú 11;0, 11;6, 12;0, 12;5 éves volt a felvételek időpontjában. Egy felnőtt, a két gyermek édesanyja (42 év) ejtését is felvettük egyszeri alkalommal.

Az adatközlők VCVCV szerkezetű logatomokat olvastak fel. A logatomok mindhárom magánhangzója, illetve a két mássalhangzója azonos volt. 9 magyar magánhangzó-minőség volt: /ɒ o u i ɛ ø y a: e:/; a mássalhangzók az alábbi magyar zöngétlen rövid konzonánsok voltak: /p t c k f s ʃ ts tʃ/. Minden magánhangzó-mássalhangzó kombináció szerepelt a rögzített anyagban, ami összesen 81 logatomot jelent. Ezeket a gyermekek és a felnőtt is egy ülésben 2–5 alkalommal mondták be, random sorrendben. Mivel a fiatalabb gyermekkel az első alkalmakkor csak két sorozatot tudtunk rögzíteni, ezért két-két bemonrást elemeztünk mindenkitől, minden felvételi alkalomból.

A felvételek során artikulációs és akusztikai csatornán rögzítettük a beszédet. Az artikuláció vonatkozásában a nyelv midszagittális (középvonali) kontúrját rögzítettük egy nyelvultrahang-készülék segítségével („Micro” rendszerrel: Articulate Instruments Ltd.; lásd CSAPÓ és mtsai. 2017). A felvételeket 2–4 MHz frekvenciájú, 64 elemű, 20 mm sugarú mikrokonvex ultrahang-vizsgálófejjel, 82 képkocka/másodperc sebességgel készítettük. Annak érdekében, hogy az ultrahangfej ne mozogjon el felvétel közben, az ultrahang forgalmazója által készített „sisak”-kal illesztettük azt a beszélő állához (Articulate Instruments Ltd.) Az akusztikai beszédjelet Beyerdynamic TG H56 omnidirekcionális kondenzátormikrofonnal rögzítettük, amely az ajkaktól állandó távolságban, kb. 20 cm-re helyezkedett el. A hangot 44,1 kHz mintavételi frekvenciával digitalizáltuk M–Audio M-TRACK PLUS külső hangkártyával.

A beszédjelet automatikusan címkéztük (MIHAJLIK és mtsai. 2010), majd a hanghatárokat kézzel javítottuk a Praat szoftverben (BOERSMA – WEENINK 2019). A réshang kezdetét az intenzív zörej megindulásához, a végét pedig a réshangot követő első periodikus mintát mutató időponthoz tettük. Kinyertük a mássalhangzók időtartamát.

Az /s/ és /ʃ/ beszédhangokat elemeztük. Ezen hangok időpontjának 0, 50 és 100%-ához, azaz kezdő és záró határaihoz, illetve középpontjához legközelebb eső ultrahangképekben az AAA szoftverben („Micro” rendszer, Articulate Instruments Ltd.) kézzel berajzoltuk a nyelvkontúrt, amit az R szoftverben (R CORE TEAM 2018) elemeztünk.

Kiszámítottuk a Zharkova, Gibbon és Hardcastle (2015) által kidolgozott LOC_{a-i} görbemerő számot. Ez a mérőszám a nyelvkontúr kezdő és végpontját összekötő vonal egy- és kétharmadánál húzott merőlegesek hosszának aránya az összekötő vonal és a nyelvgörbét metsző pontja között (lásd 2. ábra).

Ugyancsak a mássalhangzók időtartamának 0, 50 és 100%-ához legközelebb eső ultrahangképek időpontjában nyertük ki a spektrális jellemzők mérőszámait is. A Praat szoftverben (BOERSMA – WEENINK 2019) a hangfájlt spektrogrammá alakítottuk 0,005 s-os ablakkal, 0,002 s-os eltolással, 20 Hz-es frekvencialépésekkel 0–21000 Hz-es

tartományban Gauss-ablakkal. A mérési időpontokban gyors Fourier-transzformációval kinyert spektrális szeleteken mértük ki a spektrális súlypontot (*center of gravity*: CoG), szórást, ferdeséget és csúcsosságot. Ugyanezeket a spektrális mérőszámokat a teljes mássalhangzó időtartamára is kimértük.

Két próbát futtattunk az R szoftverben (R Core Team 2018). Ezeket az egyes beszélőkre külön futtattuk le. Ismételt méréses ANOVA tesztet végeztünk, minden függő változóra külön. Függő változóként az időtartam, az LOC_{a-i} , a CoG, a szórás, a ferdeség és a csúcsosság szerepelt, faktorként a gyermekek esetében a mássalhangzó, a felvétel időpontja és a mérési pont, a felnőtt esetében pedig csak a mássalhangzó és a mérési pont. Többváltozós ANOVA-t (MANOVA) is végeztünk, amelyben a négy akusztikai mérés eredménye szerepelt függő változóként. A faktorok megegyeztek az ANOVA-ban használtakkal. Az akusztikai jellemzőket a teljes mássalhangzóra mérve is elvégeztük ezeket a próbákat. Ezen esetben csak a felvétel időpontja és a mássalhangzó volt faktor a modellben. A reziduálisok eloszlásának normalitását és homogenitását vizuálisan ellenőriztük a reziduálisok ábrázolásával.

3. Eredmények

3.1. Időtartam

A mássalhangzók időtartamát az 1. táblázat mutatja be. Egy beszélő esetében sem volt szignifikáns eltérés a két mássalhangzó időtartamában, csak a gyermekek ejtésében az egyes felvételi időpontok között (azaz az életkor mentén) [$F(3, 120) = 17,356$, $p < 0,001$, $F(3, 121) = 11,410$, $p < 0,001$]. Az adatok azonban nem mutattak lineáris változást. A felnőtt nő ejtésében megvalósult időtartamoknál jellemzően hosszabban ejtették a gyermekek a célhangokat.

1. táblázat. A vizsgált mássalhangzók realizációinak időtartama (ms, átlag és szórás)

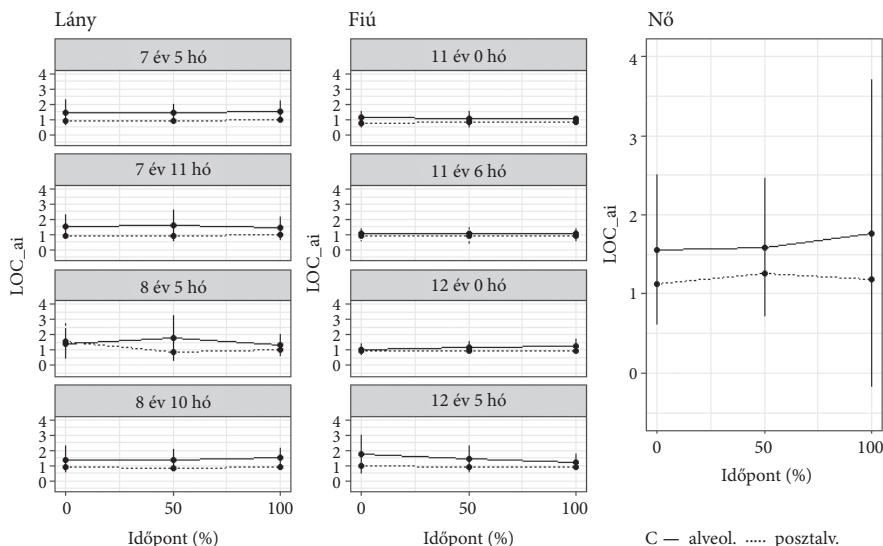
beszélő	életkor	/s/	/ʃ/
fiú	11;0	177,2 ± 24,0	180,5 ± 22,1
	11;6	172,3 ± 27,5	179,0 ± 20,0
	12;0	201,4 ± 31,4	209,9 ± 18,0
	12;5	179,5 ± 21,9	175,6 ± 24,0

beszélő	életkor	/s/	/ʃ/
lány	7;5	199,8 ± 44,0	200,3 ± 41,7
	7;11	158,1 ± 45,0	141,0 ± 29,3
	8;5	149,9 ± 37,4	141,9 ± 27,6
	8;10	175,3 ± 18,6	177,2 ± 20,5
nő	42	147,9 ± 15,0	160,7 ± 24,7

3.2. LOC

A nyelv görbületét számszerűsítő LOC_{a-i} (3. ábra) mindhárom beszélő esetében kis eltérést mutatott a mássalhangzók között, amihez képest azonban nagy szóródással valósult meg. Annak ellenére, hogy az eltérés több esetben kicsi volt a két réshang között, mégis szignifikánsan eltért a két mássalhangzó között a felnőtt nő esetében [$F(1, 92) = 4,956, p = 0,028$], illetve a lány esetében [$F(1, 364) = 51,051, p < 0,001$] úgy, hogy az /s/ esetében volt magasabb az érték, vagyis a hátsó nyelvterület elülső nyelvterülethez viszonyított púposága nagyobb volt, mint az /ʃ/ esetében. A fiú esetében az életkor és a mássalhangzó interakciójának hatása volt szignifikáns [$F(3, 354) = 3,416, p = 0,018$]. Ez azt jelenti, hogy a konzonánsok közötti eltérés a lány esetében életkortól függetlenül kimutatható volt, míg a fiú esetében – az ábrán is láthatóan – csak későbbi életkorban jelent meg. A fiú idősebb a lánynál, és (a gyermekek édesanyjának elmondása alapján) a motoros ügyességük az adott életkorokban nem volt az átlagtól eltérő, így feltételezhetnénk, hogy a fiú esetében függ kevésbé az oppozíció megléte az életkortól. Annak hátterében, hogy mégis ezzel ellentétes tendenciát látunk, az állhat, hogy a fiú esetében esetleg nagyobb méret- és/vagy arányváltozások történtek a vizsgált időszakban, mint a lány esetében. A mérési pontok (értsd: a mássalhangzó eleje, közepe és vége) közötti eltérés nem volt szignifikáns egyik beszélőnél sem, ami azt jelenti, hogy már a kezdő- és még a végponton is van kimutatható eltérés a mássalhangzók között, és a szomszédos magánhangzók koartikulációs hatása nincs jelentős befolyással a vizsgált szibilánsok közötti szembenállás meglétére. Szembetűnő a felnőtt nő esetében az LOC_{a-i} nagy szórása a gyermekekéhez képest. Feltételezhetjük, hogy a koartikulációs hatások játszanak ebben közre, mivel a hanghatárokon nagyobb a szórás, illetve Zharkova, Hewlett és Hardcastle (2011, 2012) azt találták, hogy a koartikulációs hatások eltérnek a gyermekek és a felnőttek ejtésében: a serdülőkor előtti gyermekek esetében a posztalveoláris réshang nagyobb, az alveoláris kisebb mértékben koartikulálódott. Lehetséges, hogy jelen esetben a felnőtt nő beszédében nagyobb a koartikuláció hatása. Ennek feltérképezésére azonban több ismételts elem-

zése lenne szükséges, ami a fiatalabb életkorokban még nem volt kivitelezhető a gyermekekkel.



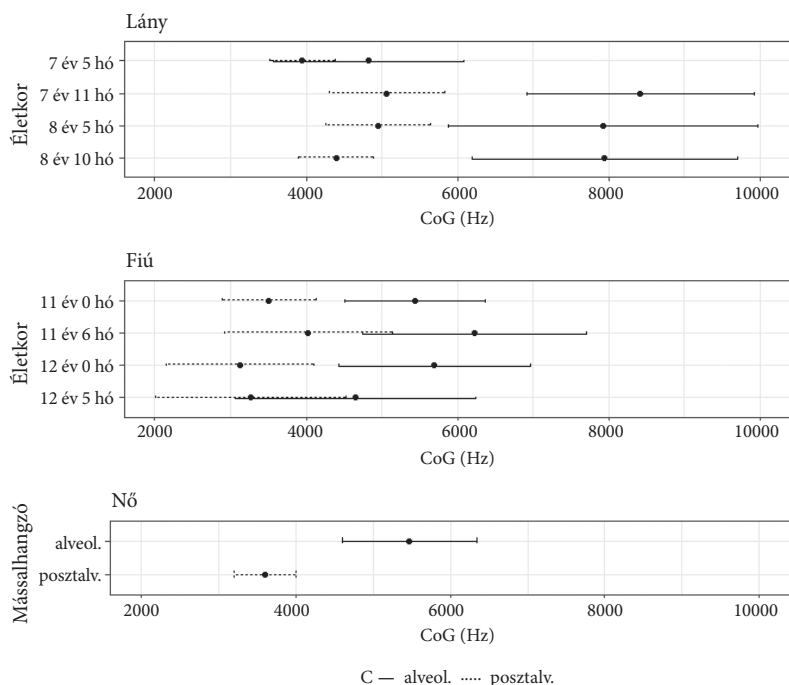
3. ábra. Az LOC_{a-i} a három beszélő ejtésében az /s/ és az /ʃ/ mássalhangzóban mért kezdő-, közép- és végpont: átlag és szórás

3.3. A teljes mássalhangzó időtartamára mért spektrális jellemzők

A négy spektrális jellemző eltért a nő ejtésében a két mássalhangzó között a szakirodalom alapján várt irányba ($\text{CoG}_{/s/} > \text{CoG}_{/ʃ/}$; $\text{SD}_{/s/} > \text{SD}_{/ʃ/}$; $\text{ferdeség}_{/s/} < \text{ferdeség}_{/ʃ/}$; $\text{csúcsosság}_{/s/} < \text{csúcsosság}_{/ʃ/}$), amit a statisztikai eredmények is alátámasztottak [ANOVA-k: CoG: $F(1, 30) = 61,320$, $p < 0,001$; spektrális szórás: $F(1, 30) = 130,900$, $p < 0,001$; ferdeség: $F(1, 30) = 48,000$, $p < 0,001$; csúcsosság: $F(1, 30) = 69,820$, $p < 0,001$; MANOVA: $F(4, 27) = 63,827$, $p < 0,001$].

A gyermekek esetében a négy változó azonban részben eltérő eredményeket adott, bár az eltérések iránya minden esetben megegyezett a várakozásokkal.

A CoG (4. ábra) a lány első, a fiú második és negyedik felvétele során átfedést mutatott a két mássalhangzó között, a többi esetben azonban szignifikáns eltérést. A gyermekek ejtésében valamivel nagyobb variabilitást kaptunk, mint a nő esetében, a CoG-értékek változatosabbak voltak. A CoG értéke folyamatos csökkenést mutatott az életkor mentén mindkét gyermeknél. Ez a beszédképző szervek növekedése, ezen belül az akadály előtti tér növekedése miatt alakulhatott így.

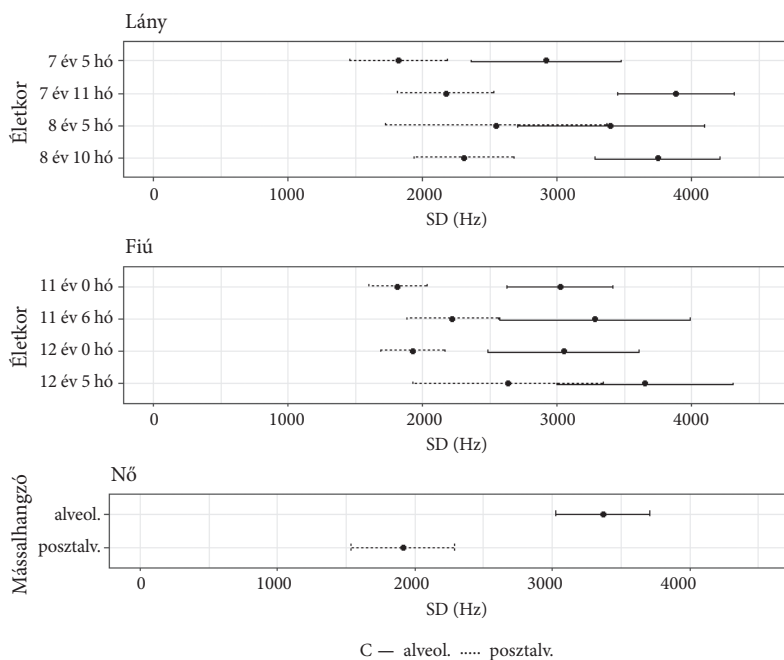


4. ábra. A CoG (Hz) az /s/ és az /ʃ/ teljes időtartamában (átlag és szórás)

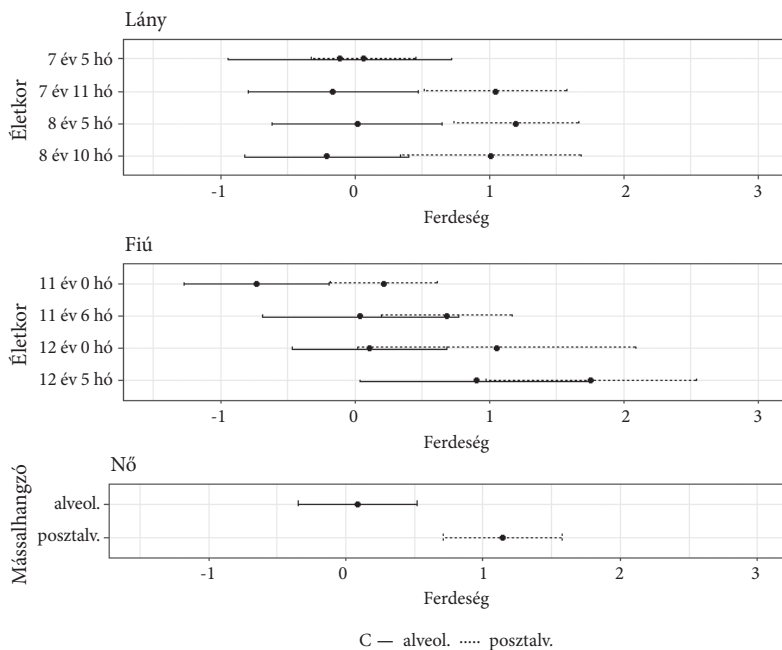
A spektrális szórás (5. ábra), esetében is nagyobb szórást kaptunk a gyermekek ejtésében, de a lány második felvételén kívül minden esetben eltért a két mássalhangzóra kapott jellemző értéktartomány a várt irányba ($SD_{/s/} > SD_{/ʃ/}$).

A ferdeség (6. ábra) a kislány ejtésében a 2–4. felvétel során eltért a két mássalhangzó között, míg a fiú ejtésében jelentősen átfedett a harmadik és a negyedik felvétel során. Az értékek szórása ezen változó esetében is jellemzően nagyobb volt a gyermekek ejtésében, mint a felnőttében, de a fiú harmadik és negyedik felvétele során a posztalveoláris realizációiban kifejezetten nagy volt a spektrális ferdeség szórása, azaz a változatosság.

A csúcsosság (7. ábra) esetében ugyancsak jellemzően nagyobb volt a szórás a gyermekek esetében, mint a felnőtt női beszélő ejtésében. A két mássalhangzó nem minden felvételi időpontban (azaz nem minden életkorban) tért el a gyermekek ejtésében ennek a paraméternek a tekintetében. A lány beszédében a csúcsosság nem változott jelentősen az életkor mentén, míg a fiú esetében a harmadik és negyedik felvétel során a női beszélőhöz hasonló értékeket vett fel, de a két mássalhangzó között nagyobb átfedéssel.



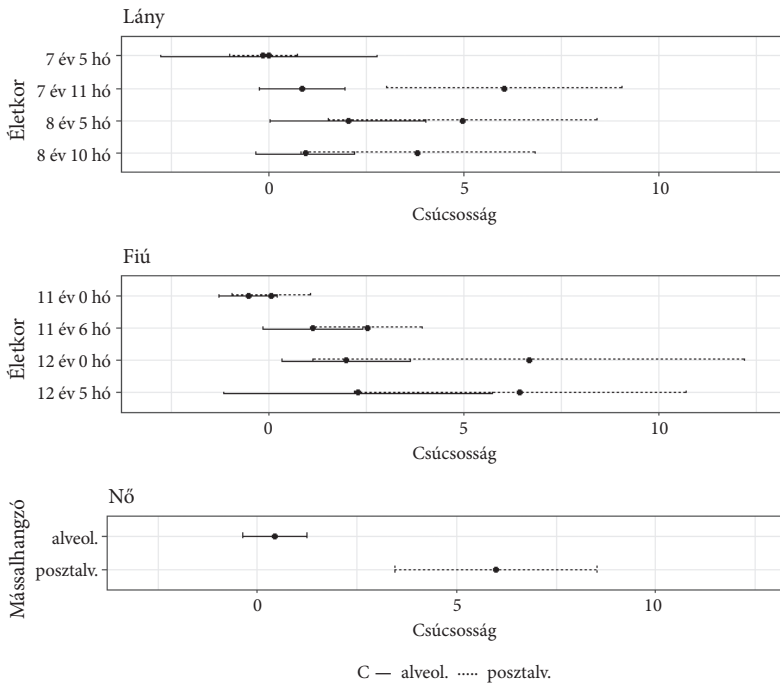
5. ábra. Spektrális szórás (SD) a teljes mássalhangzó időtartamában: átlag és szórás



6. ábra. A ferdeség a teljes mássalhangzó időtartamában: átlag és szórás

Az ANOVA próba eredményei alapján a lány esetében mind a négy jellemzőre az életkor és a mássalhangzó interakciója volt szignifikáns hatással [CoG: $F(3, 120) = 7,710, p < 0,001$; spektrális szórás: $F(3, 120) = 4,044, p = 0,009$; ferdeség: $F(3, 120) = 5,727, p = 0,001$; csúcsosság: $F(3, 120) = 6,750, p < 0,001$]. Az egyes spektrális jellemzők nem minden felvételi időpontban tértek el a két mássalhangzó között.

A fiú esetében az életkor és a mássalhangzó főhatása volt szignifikáns a CoG, a szórás és a ferdeség tekintetében, míg a csúcsosságra ezek interakciója gyakorolt szignifikáns hatást. A CoG-re kapott statisztikai eredmények: mássalhangzó: $F(1, 121) = 92,256, p < 0,001$, életkor: $F(3, 121) = 5,309, p = 0,002$. A spektrális szórásra kapott eredmények: mássalhangzó: $F(1, 121) = 146,635, p < 0,001$, életkor: $F(3, 121) = 13,014, p < 0,001$. A ferdeség eredményei: mássalhangzó: $F(1, 121) = 46,392, p < 0,001$, életkor: $F(3, 121) = 28,010, p < 0,001$. A csúcsosságra kapott eredmény: $F(3, 121) = 3,824, p = 0,012$. Ez azt jelenti, hogy a két konzonáns kontrasztja a fiú ejtésében a nagy variabilitás, az átfedések és az életkor menti változás ellenére kimutatható volt minden spektrális paraméterben a csúcsosság kivételével.

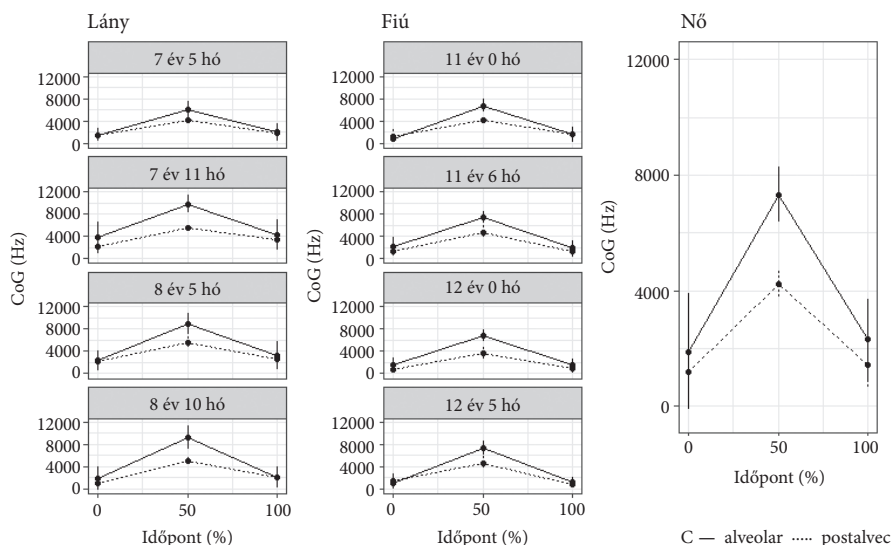


7. ábra. A csúcsosság a teljes mássalhangzó időtartamában: átlag és szórás

A felnőtt nő esetében a négy akusztikai változóra együtt végzett MANOVA alapján a mássalhangzók között szignifikáns az eltérés [$F(4, 27) = 63,827, p < 0,001$]. A lány ejtésében mind a négy elemzett spektrális jegy esetében volt olyan felvételi időpont (azaz olyan életkor), amikor a két mássalhangzó közötti különbség nem állt fenn, a fiúéban pedig csak a csúcsosság esetében volt ilyen felvételi időpont. Emiatt a gyermekek esetében az életkor és a mássalhangzó interakciójának volt szignifikáns hatása a jellemzőkre a MANOVA alapján [lány: $F(12, 357) = 5,502, p < 0,001$; fiú: $F(12, 360) = 4,780, p < 0,001$].

3.4. A mássalhangzó kezdő-, közép- és végpontján mért spektrális jellemzők

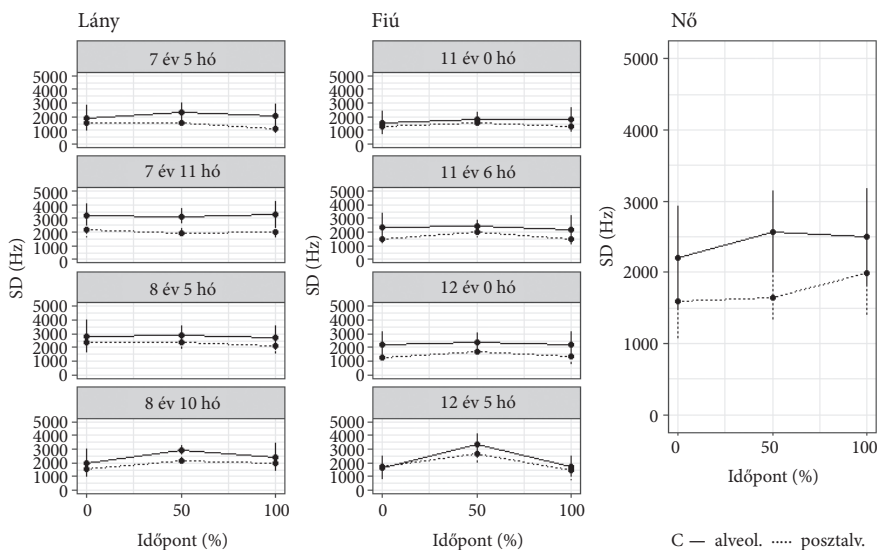
Az egyes spektrális értékek eltérésének iránya a mássalhangzó különböző pontjain mérve egyezést mutatott a mássalhangzók teljes időtartamára mért értékekkel, így itt erre már nem, pusztán az eltérések mértékére utalunk. A három mérési pontban mért CoG-értékek (8. ábra) a mássalhangzók közepén nagyobb eltérést mutattak az /s/ és az /ʃ/ között, mint a kezdő- és végponton a gyermekek esetében és a felnőtt nő esetében is, vagyis a hanghatárokon a koartikulációs hatás nagyobbak bizonyult, a mássalhangzó középpontján (a célkonfigurációhoz közeli ponton) azonban jelen volt a két konszonáns megkülönböztetése.



8. ábra. CoG (Hz) a mássalhangzók kezdő-, közép- és végpontján (átlag és szórás)

A spektrális szórás értéke (9. ábra) és így a két konszonáns közötti eltérése nem változott jelentősen a kezdő-, közép- és végpont között a felnőtt nő ejtésében, míg a

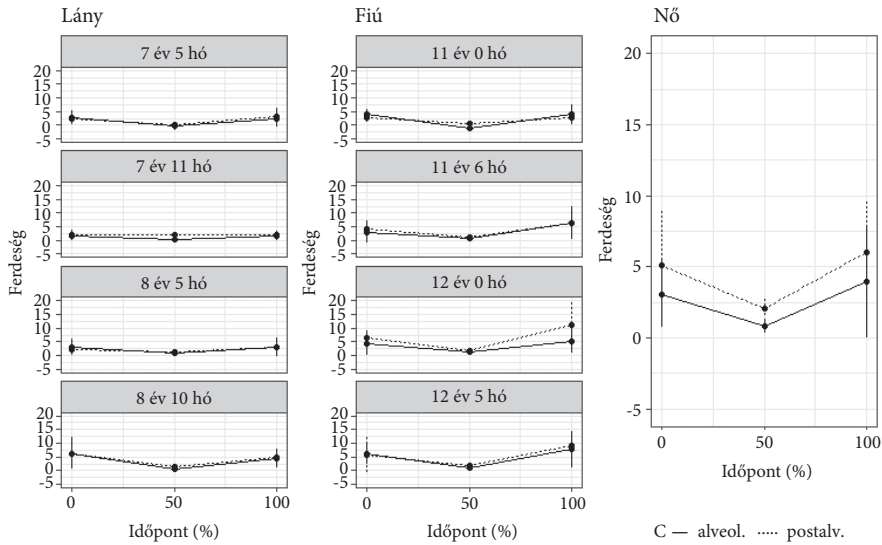
gyermeknekél nagyon változatos mintázatot mutatott. Feltehetően ez a változékonyabb ejtés következménye.



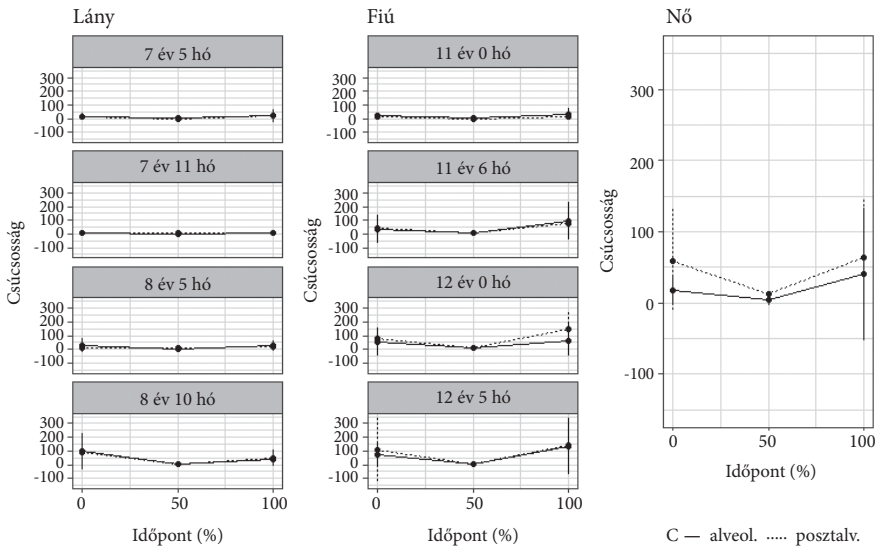
9. ábra. Spektrális szórás (Hz) a mássalhangzók kezdő-, közép- és végpontján (átlag és szórás)

A ferdeség (10. ábra) a felnőtt nő esetében a középponton alacsonyabb volt, mint a két szélső mérési ponton. A kislány esetében ehhez hasonló mintázat a 4. felvételi időpontjában jelent meg. A kisfiú esetében már az első felvételi időpontban (azaz a vizsgált két év elején) is látható hasonló mintázat, de a négy időpont alatt az idő előrehaladtával egyre határozottabban rajzolódik ki ez az eltérés a mássalhangzóban vett három mérési pont között. A két konsonáns között a ferdeség értéke eltért mindhárom mérési pontban (a mássalhangzó időtartamának 0, 50 és 100%-án) a felnőtt nő ejtésében, míg a gyermekek ejtésében csak a fiú beszédében adatolható némi eltérés, és csak a harmadik felvételi időpontban.

A csúcsosság (11. ábra) a felnőtt nő ejtésében a mássalhangzó két szélső pontján nagyobb eltérést mutatott, mint a mássalhangzó időbeli felezőpontjánál. Ez a mintázat a gyermekekénél nem jelent meg, és az értékek szórása is jellemzően alacsonyabb volt, mint az édesanyjuk ejtésében. A szórás folyamatosan emelkedett a gyermekek felvételeiben a két év során. Míg a felnőtt nő ejtésében a konsonánsok között mindhárom mérési ponton szignifikáns az eltérés ebben a paraméterben, a gyermekek ejtésében ez a megkülönböztetés nincs jelen.



10. ábra. Ferdeség a mássalhangzók kezdő-, közép- és végpontján (átlag és szórás)



11. ábra. Csúcsosság a mássalhangzók kezdő-, közép- és végpontján (átlag és szórás)

A mássalhangzó időtartamában felvett három mérési ponton mért spektrális jellemzők esetében a nő ejtésében a mérési pont és a mássalhangzó interakciójának volt szignifikáns hatása [$F(8, 176) = 7,155, p < 0,001$]. A lány esetében az életkor és

a mássalhangzó interakciójának [$F(12, 1092) = 1,812, p = 0,042$], illetve az életkor és a mérési pont interakciójának [$F(16, 1460) = 2,442, p = 0,001$] volt szignifikáns hatása az eredményekre. A fiú esetében a három faktor fő hatása volt szignifikáns [mássalhangzó: $F(4, 366) = 20,9865, p < 0,001$; életkor: $F(12, 1104) = 14,083, p < 0,001$; mérési pont: $F(4, 366) = 10,696, p < 0,001$].

A három mérési ponton mért értékek ANOVA-eredményeit a 2. táblázatban adtuk meg. A felnőtt nő esetében mind a négy spektrális jegy esetében szignifikáns volt az eltérés a mássalhangzók között, míg a kislány esetében a ferdeség és a csúcsosság, a kisfiú esetében pedig csak a csúcsosság esetében nem volt eltérés a két konszonáns között.

2. táblázat. A mássalhangzó időtartamának 0, 50, 100%-án mért spektrális jellemzők ANOVA-eredményei (faktorok: mássalhangzó, mérési pont és – a gyermekek esetében – életkor)

Beszélő	Spektrális jellemző	Szignifikáns hatású faktor	F-érték (és szabadságfokok)	p-érték
nő	CoG	a mássalhangzó és a mérési pont interakciója	$F(2, 90) = 9,880$	$< 0,001$
	szórás	mássalhangzó	$F(1, 90) = 31,073$	$< 0,001$
	ferdeség	mássalhangzó	$F(1, 90) = 9,242$	$= 0,003$
		mérési pont	$F(2, 90) = 13,293$	$< 0,001$
	csúcsosság	mássalhangzó	$F(1, 90) = 4,051$	$= 0,047$
		mérési pont	$F(2, 90) = 4,500$	$= 0,014$
lány	CoG	mássalhangzó	$F(1, 367) = 25,652$	$< 0,001$
		életkor	$F(3, 367) = 8,312$	$< 0,001$
		mérési pont	$F(2, 367) = 4,187$	$= 0,041$
	szórás	a mássalhangzó és az életkor interakciója	$F(3, 367) = 4,370$	$= 0,005$
	ferdeség	életkor	$F(3, 367) = 13,628$	$< 0,001$
	csúcsosság	az életkor és a mérési pont interakciója	$F(3, 367) = 4,828$	$= 0,003$
fiú	CoG	mássalhangzó	$F(1, 370) = 22,703$	$< 0,001$
	szórás	mássalhangzó	$F(1, 370) = 44,780$	$< 0,001$
		életkor	$F(1, 370) = 8,076$	$< 0,001$
	ferdeség	mássalhangzó	$F(1, 370) = 4,219$	$= 0,041$
		életkor	$F(3, 370) = 9,967$	$< 0,001$
		mérési pont	$F(2, 370) = 12,938$	$< 0,001$
	csúcsosság	életkor	$F(3, 370) = 7,091$	$< 0,001$
		mérési pont	$F(2, 370) = 8,175$	$= 0,004$

4. Következtetések

A jelen tanulmányban két gyermek /s/ és /ʃ/ mássalhangzóinak ejtését elemeztük, valamint referenciaképpen egy felnőtt nő (aki az édesanyjuk) mássalhangzóinak megfelelő adatait is bevontuk a vizsgálatba. A vizsgálatunk utánkötétes (longitudinális) jellegű volt, azaz a gyermekek ejtését nagyjából félévente rögzítettük, két éven keresztül (a felnőtt nőét csak egyszer rögzítettük). Ultrahangos nyelvkontúrvideókat és beszédfelvételt készítettünk.

Hipotézisünket, miszerint a két gyermek ejtésében megjelenik már az első felvételek idején a két konzonáns kontrasztja, de a felnőtt beszélő mintázatától még eltérően, alátámasztották az eredmények. A két év alatti változás során pedig a gyermekek mintázata hasonlóbba vált a felnőtt beszélőéhez, ahogyan vártuk, és ez az idősebb (fiú) gyermek beszédében volt jellemzőbb. Tekintettel arra, hogy mindkét vizsgált gyermek az életkorának megfelelő, tipikus artikulációval jellemezhető, az idősebb gyermek a motoros fejlődésben végig előrébb tartott a vizsgálat során.

A korábbi szakirodalmi eredmények azt mutatták, hogy az általunk vizsgált életkorokban a gyermekek ejtésében kimutatható a két mássalhangzó közötti kontraszt mind a négy vizsgált spektrális és az artikulációs jellemzőben a mássalhangzó teljes időtartama alatt, a variabilitás azonban jellemzően nagyobb mértékű a gyermekek ejtésében, mint a felnőttekében (ROMEO – HAZAN – PETTINATO 2013; ZHARKOVA 2016). A jelen eredményekben a ferdeség és a csúcosság esetében nem találtunk szignifikáns eltérést a kislány ejtésében a két mássalhangzó között, illetve a csúcosságban a kisfiú ejtésében. A korábbi vizsgálatokban nagyobb mintákon talált tendenciákat mutattak be, a beszélők közötti eltérésekre nem tértek ki, azonban a meglévő kontraszt is eltérő mintázatot mutatott a felnőttek ejtésétől. A jelen tanulmány eredményei is azt mutatták, hogy a gyermekek LOC_{a-i} -értékei, a spektrális jellemzők és a két mássalhangzó közötti eltérés is folyamatosan változik, azaz a kontraszt felnőttekéhez hasonló mintázata folyamatosan alakul ki.

A két gyermek összevetésében fontos tényező, hogy bár a kisfiú idősebb, mégsem minden esetben az ő ejtésében határozottabb a kontraszt, mint a kislányéban. Ez az egyes vizsgált jegyek között eltérően alakult. Mivel mindkét gyermek tipikus, az életkori csoportjának megfelelő artikulációs fejlődésű, ép hallású, ezért két okot feltelezhetünk ennek háttérében. Az egyik, hogy a fiúgyermekek artikulációs szervei és azok aránya nemlineárisan növekednek (VORPERIAN et al. 2009). Másrészt az a tény is okozhatta a nem várt eredményt, hogy a lányok és a fiúk növekedési mintázata ismeretesen eltérő a gyermekkor folyamán (VORPERIAN et al. 2011).

A vizsgálatot mind időben (további felvételek készítése ugyanezen beszélők részvételével), mind a vizsgált szegmentumok körét illetően, mind pedig a beszélőszám növelésével, mind (a megfelelő ismétlésszámok elérése után) a magánhangzó-környezet hatásával ki kívánjuk terjeszteni a jövőben. Reményeink szerint az ilyen jellegű longitudinális vizsgálatok, amelyek az egyéni fejlődési mintázatokról adnak képet, a beszédfejlődést illetően általánosítható következtetések levonását is lehetővé teszik a jövőben.

Irodalom

- BOERSMA, Paul – WEENINK, David (2019): *Praat: doing phonetics by computer [Computer program]*. Version 6.0.43. <http://www.praat.org/> (A letöltés ideje: 2019. június 6.)
- CSAPÓ Tamás Gábor – DEME Andrea – GRÁCSI Tekla Etelka – MARKÓ Alexandra – VARJASI Gergely (2017): Szinkronizált beszéd- és nyelvtultrahang-felvételek a SonoSpeech rendszerrel. In: VINCZE Veronika (szerk.): *XIII. Magyar Számítógépes Nyelvészeti Konferencia (MSZNY2017)*. Szegedi Tudományegyetem, Szeged. 339–346. <http://rgai.inf.u-szeged.hu/project/mszny2017/files/kotet.pdf>. (A letöltés ideje: 2020. január 6.)
- DINNSEN, Daniel A. (1992): Variation in developing and fully developed phonetic inventories. In: FERGUSON, Charles – MENN, Lisa – STOEL-GAMMON, Carol (eds): *Phonological Development: Models, Research, Implications*. York Press, Timonium, MD. 191–210.
- ENGWALL, Olov (2000): Dynamical aspects of coarticulation in Swedish fricatives a combined EMA and EPG study. *TMH-QPSR* 41(4). 49–73.
- GRÁCSI Tekla Etelka – KREPSZ Valéria (2018): Intervokális réshangok akusztikai szerkezete tinédzser- és felnőttkorban. *Alkalmazott Nyelvtudomány* 18(1). <http://dx.doi.org/10.18460/ANY.2018.1.003>
- JONGMAN, Allard – WAYLAND, Ratree – WONG, Serena (2000): Acoustic characteristics of English fricatives. *Journal of Acoustic Society of America* 108(3). 1252–1263.
- KENT, Ray D. (1992): The biology of phonological development. In: FERGUSON, Charles – MENN, Lisa – STOEL-GAMMON, Carol (eds): *Phonological Development: Models, Research, Implications*. York Press, Timonium, MD. 65–90.
- KOENIG, Laura L. – LUCERO, Jorge C. – PERLMAN, Elizabeth (2008): Speech production variability in fricatives of children and adults: Results of functional data analysis. *Journal of Acoustic Society of America* 124(5). 3158–3170.
- LEE, Sungbok – POTAMIANOS, Alexandros – NARAYANAN, Shrikanth (1999): Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal & spectral parameters. *Journal of Acoustic Society of America* 105(3). 1455–1468.
- LI, Fangfang – EDWARDS, Jan – BECKMAN, Mary E. (2009): Contrast and covert contrast: The phonetic development of voiceless sibilant fricatives in English and Japanese toddlers. *Journal of Phonetics* 37(1). 111–124.

- MIHAJLIK, Péter – TÜSKE, Zoltán – TARIÁN, Balázs – NÉMETH, Bottyán – FEGYÓ, Tibor (2010): Improved recognition of spontaneous Hungarian speech: Morphological and acoustic modeling techniques for a less resourced task. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing* 18(6). 1588–1600.
- MOOSHAMMER, Christine – HOOLE, Philip – GEUMANN, Anja (2007): Jaw and order. *Language and Speech* 50(2). 145–176.
- NISSEN, Shawn L. – FOX, Robert A. (2005): Acoustic and spectral characteristics of young children's fricative productions: A developmental perspective. *Journal of Acoustic Society of America* 118(4). 2570–2578.
- NITTROUER, Susan (1995): Children learn separate aspects of speech production at different rates: Evidence from spectral moments. *Journal of Acoustic Society of America* 97(1). 520–530.
- PENTZ, Arthur – GILBERT, Harvey R. – ZAWADZKI, Paul (1979): Spectral properties of fricative consonants in children. *Journal of Acoustic Society of America* 66(6). 1891–1893.
- R CORE TEAM (2018): *R: A Language and Environment of Statistical Computing*. R Foundation for Computing, Vienna.
- RECASENS, Daniel – ESPINOSA, Aina (2009): An articulatory investigation of lingual coarticulatory resistance and aggressiveness for consonants and vowels in Catalan. *Journal of Acoustic Society of America* 125(4). 2288–2298.
- ROMEO, Rachel – HAZAN, Valerie – PETTINATO, Michèle (2013): Developmental and gender-related trends of intra-talker variability in consonant production. *Journal of Acoustic Society of America* 134(5). 3781–3792.
- SCOBIE, James E. – GIBBON, Fiona – HARDCASTLE, William J. – FLETCHER, Paul (1996): Covert contrast as a stage in the acquisition of phonetics and phonology. In: SCOBIE, James (ed.): *QMC Working Papers in Speech and Language Sciences* 1. Cambridge University Press, Cambridge. 43–62.
- SHADLE, Christine H. (1989): Articulatory-acoustic relationships in fricative consonants. *VSSP Technical Report 89/TR3*. University of Southampton, Southampton.
- SMIT, Ann B. – HAND, Linda – FREILINGER, J. Joseph – BERNTHAL, John E. – BIRD, Ann (1990): The Iowa articulation norms project and its Nebraska replication. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 55(4). 779–798.
- STEVENS, Kenneth N. (1998): *Acoustic Phonetics*. MIT Press, Cambridge, MA.
- STONE, Maureen – LUNDBERG, Andrew (1996): Three-dimensional tongue surface shapes of English consonants and vowels. *Journal of Acoustic Society of America* 99(6). 3728–3736.
- TOMIAK, Gail R. (1990): An acoustic and perceptual analysis of the spectral moments invariant with voiceless fricative obstruents. PhD thesis. SUNY, Buffalo, NY.
- VORPERIAN, Houri K. – WANG, Shubing – CHUNG, Moo K. – SCHIMEK E. Michael – DURTSCHI Reid B. – KENT Ray D. – ZIEGERT, Andrew J. – GENTRY, Lindell R. (2009): Anatomic development of the oral and pharyngeal portions of the vocal tract: An imaging study. *Journal of Acoustic Society of America* 125(3). 1666–1678.

- VORPERIAN, Houri K. – WANG, Shubing – SHIMECK, E. Michael – DURTSCHI, Reid B. – KENT, Ray D. – GENTRY, Lindell R. – CHUNG, Moo K. (2011): Developmental sexual dimorphism of the oral and pharyngeal portions of the vocal tract: An imaging study. *Journal of Speech and Language Hearing Research* 54(4). 995–1010.
- WALSH, Brigitte – SMITH, Anne (2002): Articulatory movements in adolescents: Evidence for protracted development of speech motor control processes. *Journal of Speech and Language Hearing Research* 45(6). 1119–1133.
- WHITE, David (2001): Covert contrast, merger, and substitution in children's productions of /k/ and /t/. Unpublished Master's Thesis, The Ohio State University, Columbus, OH.
- ZHARKOVA, Natalia (2013): Using ultrasound to quantify tongue shape and movement characteristics. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal* 50(1). 76–81.
- ZHARKOVA, Natalia (2016): Ultrasound and acoustic analysis of sibilant fricatives in preadolescents and adults. *Journal of Acoustic Society of America* 139(5). 2342–2351.
- ZHARKOVA, Natalia – GIBBON, Fiona E. – HARDCASTLE, William J. (2015): Quantifying lingual coarticulation using ultrasound imaging data collected with and without head stabilisation. *Clinical Linguistics and Phonetics* 29(4). 249–265.
- ZHARKOVA, Natalia – HEWLETT, Nigel (2009): Measuring lingual coarticulation from midsagittal tongue contours: Description and example calculations using English /t/ and /v/. *Journal of Phonetics* 37(2). 248–256.
- ZHARKOVA, Natalia – HEWLETT, Nigel – HARDCASTLE, William J. (2011): Coarticulation as an indicator of speech motor control development in children: An ultrasound study. *Motor Control* 15(1). 118–140.
- ZHARKOVA, Natalia – HEWLETT, Nigel – HARDCASTLE, William J. (2012): An ultrasound study of lingual coarticulation in /sV/ syllables produced by adults and typically developing children. *Journal of International Phonetic Association* 42(2). 193–208.

A szerzők ezúton fejezik ki köszönetüket Juhász Kornéliának, Krepsz Valériának és Weidl Zsófiának az adatfeldolgozásban nyújtott segítségükért.